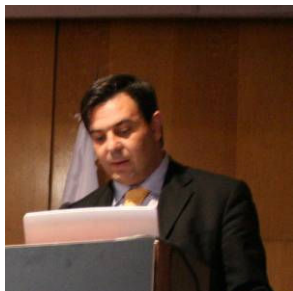


A Reabilitação de Estruturas de Betão com Argamassas de Retracção Controlada



Nelson Moreira
Lusomapei, S.A.
Portugal
n.moreira@mapei.pt



João Pedro Couto
Universidade do Minho
Portugal
jpc@civil.uminho.pt



Armanda Maria Couto
Doutoranda
Portugal
amcouto@sapo.pt

Resumo: O betão é quase sempre um material presente nas obras de Engenharia Civil mas, às vezes não é concebido, produzido e colocado nas devidas condições. A durabilidade das obras de betão não é uma característica mensurável cujo controlo indica uma duração de utilização.

Para preservar o nosso património imobiliário é absolutamente necessário estar apto a compreender o mecanismo de degradação do betão de forma a indicar qual a técnica de intervenção mais correcta. De entre as várias técnicas de reabilitação de estruturas de betão esta comunicação focaliza-se na utilização de argamassas de retracção controlada.

Palavras – chave: Patologias, Reabilitação de estruturas de betão, Argamassas de retracção controlada.

1. INTRODUÇÃO

De entre as várias técnicas de reabilitação de estruturas de betão esta comunicação focaliza-se apenas na utilização de argamassas de retracção controlada.

Numa das suas publicações, Bauer [1] refere o Código de HAMURABI que data de 1.800 A.C. que traduz em cinco regras básicas, a forma encontrada na época para diminuir os acidentes na construção:

- Se um construtor fizer uma casa para um homem e não fizer firme, e se o seu colapso causar a morte do dono da casa, o construtor deve morrer;
- Se causar a morte do filho do dono da casa, o filho do construtor deverá morrer;
- Se causar a morte de um escravo do proprietário da casa, o construtor deverá dar ao proprietário um escravo de igual valor;
- Se a propriedade for destruída, ele deverá restaurar o que foi destruído por sua própria conta;

– Se o construtor fizer a casa para um homem e não fizer de acordo com as especificações, e uma parede cair, o construtor reconstituirá a parede por sua conta. Não há registos se a aplicação do código contribuiu para a diminuição da sinistralidade, mas certamente contribuiu para a diminuição do número dos maus construtores e a eliminação da possibilidade da repetição contínua dos mesmos erros. Com a evolução das sociedades e do conhecimento, temos hoje um conjunto de ferramentas que, embora menos penosas fisicamente, são igualmente exigentes no cumprimento dos requisitos de durabilidade. Hoje, existe vasta legislação e *know-how* científico que nos permite projectar uma estrutura de betão com uma vida útil de projecto de 100 anos face às acções ambientais [2] [3].

2. A DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE BETÃO

Uma estrutura de betão, durante o seu período de vida útil, deve estar apta a cumprir com os requisitos, a nível de segurança, qualidade das condições de serviço e a durabilidade, definidos no Caderno de Encargos. Infelizmente, muitas estruturas de betão, por diversos motivos, são alvo de intervenções de manutenção ou reparação após poucos anos em serviço. As causas da degradação do betão têm principalmente duas origens: erros humanos e causas naturais [4].

2.1 Erros humanos

Estes erros podem surgir quer na fase da concepção da estrutura, quer na fase da construção.

Na concepção da estrutura deveremos ter em conta não só as cargas de serviço a que a estrutura vai estar sujeita, um projecto estrutural pormenorizado, mas também considerar a classe de exposição ambiental a que o betão vai estar sujeito. Esta classe de exposição ambiental define a dosagem mínima de ligante e a máxima relação água/ligante do betão. Com estes dados definimos a classe de resistência que devemos considerar para o betão a utilizar. É normal verificar que estruturas realizadas junto à orla marítima e em zonas sujeitas ao ciclo gelo/degelo não tiveram em consideração uma correcta definição da classe de exposição ambiental.

Na fase da construção devemos ter em consideração a composição, colocação, cura e compactação do betão, recobrimento das armaduras, má interpretação do projecto e deficiente qualidade dos materiais utilizados.

Nas Figuras 1-4 ilustram-se algumas situações problemáticas com origem em erros humanos.



Figura 1 – Fissuração de uma viga



Figura 2 – Fissuração de uma viga



Figura 3 – Colapso estrutural



Figura 4 – Colapso estrutural

2.2 Acções naturais

As acções naturais podem ser divididas em três tipos: acções químicas, acções físicas e acções biológicas.

a. Acções químicas

Carbonatação - É a reacção química entre a cal (desenvolvida durante a hidratação do cimento) e o dióxido de carbono presente no ar. Esta reacção forma carbonato de cálcio. Após esta reacção há a redução do pH do betão de 13,5 para valores inferiores a 9 [5].

A espessura da carbonatação é avaliada com um sistema colorimétrico usando fenolftalaina diluída em álcool etílico. Se o betão não muda de cor, isso significa que está afectado pelo fenómeno da carbonatação. Se o betão ficar vermelho, significa que não foi penetrado pelo dióxido de carbono (Figura 5).



Figura 5 – Avaliação da profundidade da carbonatação

Agressão por íões de cloro (CaCl_2) - Existem dois tipos de sais cloratos usados durante o Inverno como sais descongelantes:

Cloreto de sódio - Este sal desenvolve diferentes formas de agressão contra o betão. O cloreto de sódio pode causar corrosão nas armaduras de reforço e originar reacção álcali-agregados se estes forem reactivos. Este fenómeno é caracterizado por um grande aumento de volume podendo originar expansão – falência (rebentamento – lascagem) da estrutura de betão (Figura 6) [6].



Figura 6 – Estruturas de betão degradadas pela agressão de íões de cloro

Cloreto de cálcio - Reage sempre com a pasta de cimento criando um perigoso composto: oxiclreto de cálcio. Caracteriza-se por um grande aumento de volume podendo originar expansão – falência (rebentamento – lascagem) da estrutura de betão. O ataque do cloreto é avaliado com um sistema colorimétrico usando nitrato de prata e fluoresceína. Se o betão tende a ficar cor de rosa significa que houve a penetração de cloreto. Se o betão fica negro significa ausência de cloreto [6].

Agressão por sais sulfatados - Os sais sulfatados encontram-se no solo, na água do mar e nos materiais constituintes do betão. Em presença da humidade estes reagem com a pasta de cimento. Desta reacção resultam dois compostos expansivos [5]:

Ettringite - O ião sulfato reage com a cal formando gesso. O gesso reage com o aluminato tricálcio hidratado (C3A) do cimento desenvolvendo Ettringite que expande causando fendilhação no betão. A Figura 7 mostra o espectro de DRX desta fase.

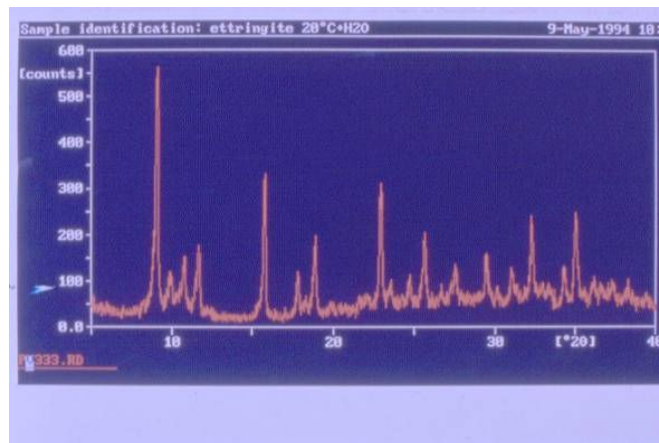


Figura 7 – Difractograma de raios X usado para avaliar a formação de Ettringite

Thaumasite - A formação da Thaumasite requer condições ambientais particulares: frio e humidade ($T = 0 \pm 5^\circ\text{C}$, H.R. > 95%). O gesso é formado por reacção química entre cal e sulfato. O gesso reage com o silicato de cálcio do cimento e dióxido de cálcio e forma Thaumasite. Esta reacção tem efeito desagregante sobre o betão. A difracção de raios X é o sistema analítico mais adequado para avaliar este fenómeno.

Álcali (Na e K) – agregado - Reacção dos álcalis (sódio e potássio) do cimento com diversas formas de sílica amorfa presentes em alguns agregados. Esta reacção causa tensões que podem originar expansão e fissuras no betão.

b. Acções físicas

Ciclos de gelo-degelo - Quando a água congela o seu volume sofre um incremento de 9%, que provoca tensões, fissuras e desagregações (Figura 8). Uma solução é introduzir 4-6% de ar no betão (em função da classe de exposição ambiental).



Figura 8 – Estrutura de betão degradada por ciclos de gelo-degelo

Retracção – a retracção origina forças de tracção; quando estas forças superam a resistência à tracção do betão surgem fissuras. Existem dois tipos:

Retracção plástica - Inicia-se com a compactação e continua até ao final da aplicação. É causada por fenómenos ligados à hidratação da pasta [fixação da água na cristalização do silicato hidratado e na formação de hidróxido, desenvolvimento de calor (expansão)], assentamento (armaduras e agregados de grandes dimensões que impedem o assentamento do conjunto), evaporação superficial/exsudação, etc. A retracção plástica origina fissuração que pode aparecer logo nos primeiros 10 a 20 minutos após a compactação do betão, devido ao assentamento dos componentes sólidos da pasta (o afagamento superficial à colher ou talocha é inadequado porquanto estas fissuras podem atingir vários centímetros de altura – melhor solução é revibrar) ou nos dias seguintes devido à evaporação superficial demasiado rápida da água de amassadura antes que a água contida no interior possa chegar à superfície (gera pressão hidrostática com deformação vertical e lateral. Quando a última é contrariada pela aderência aos moldes, armaduras ou agregados de grandes dimensões, dá-se a inevitável fissuração). Como medida correctiva usar meios que reduzam a evaporação superficial rápida [5].

Retracção higrométrica - Surge desde a descofragem e/ou durante a fase de endurecimento do betão e continua por toda a vida da estrutura. Produz fissuras no betão, ao longo do tempo, devido a evaporação lenta da água. A retracção higrométrica torna-se menor, reduzindo a quantidade de água e cimento da mistura e aumentando a quantidade dos agregados. Como medidas para a redução deste tipo de retracção podemos considerar: o reforço da matriz cimentícia com fibras sintéticas, a adição de agentes expansivos na fase plástica do betão e limitar a evaporação [7].

Temperaturas elevadas - A camada de recobrimento tem que proteger a armadura metálica de reforço e tem de evitar que a sua temperatura máxima exceda os 500°C em qualquer ponto. O betão pode resistir, sem danos, até uma temperatura máxima de 500°C.

Abrasão - A abrasão consiste no desgaste por atrito da camada superficial do betão. Baixa relação água/cimento melhora a resistência do betão à abrasão assim como a utilização de agregados resistentes à abrasão e a prescrição de um betão, pelo menos, da classe de resistência C30/37.

Erosão - Fenómeno que resulta da acção de agentes dinâmicos externos (ar, vento, água, gelo, seres vivos, etc.). O grau de erosão depende do tipo e potência do agente erosivo e da qualidade do betão. A Figura 9 ilustra o desgaste por erosão.



Figura 9 – Estrutura de betão degradada pela acção de erosão

Cavitação - Fenómeno físico que ocorre em canais quando a velocidade da água é superior a 12m/s e as superfícies de contacto são irregulares. As variações de pressão causam desagregações das superfícies do betão (Figura 10).

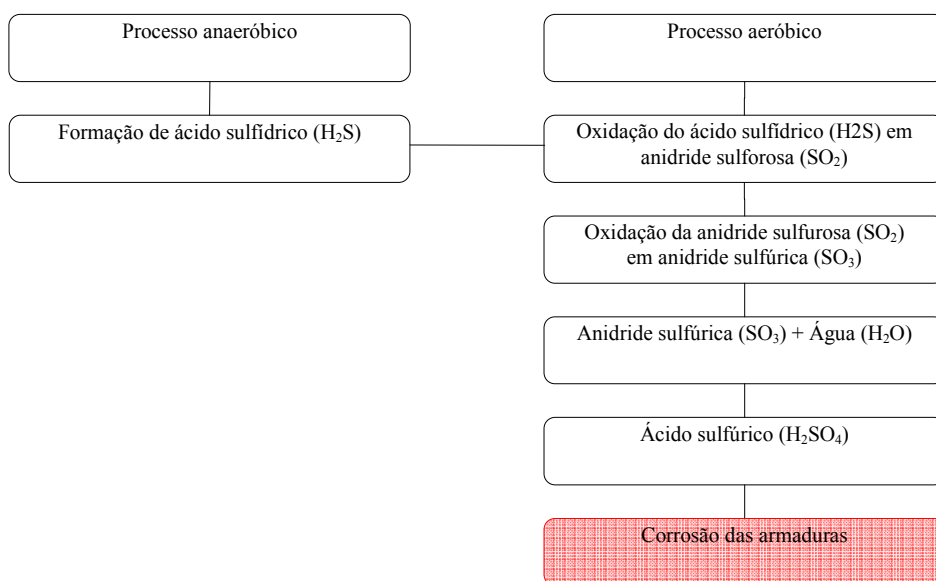


Figura 10 – Estrutura de betão degradada pela acção de cavitação

c. Acções biológicas

O fenómeno mais importante a considerar é a acção dos esgotos, devido à presença do enxofre que é transformado em ácido (sulfídrico, sulfúrico) ou sulfatos, pela presença de microorganismos [4]. No diagrama 1 descreve-se este mecanismo de corrosão.

Diagrama 1 – Mecanismo de corrosão



Outras acções a considerar são as de origem vegetal (raízes ou fungos) e as de origem animal (dejectos de aves).

3. O DIAGNÓSTICO DA ESTRUTURA

Na presença de uma estrutura de betão degradada o primeiro passo a dar é realizar um levantamento exaustivo e pormenorizado das patologias da estrutura. Este diagnóstico deve ser realizado por profissionais devidamente habilitados e com conhecimentos necessários e suficientes que permitam identificar o tipo e a causa da patologia e a profundidade da degradação. Deve ser elaborado um projecto com a intervenção a realizar na estrutura, identificando métodos para a preparação do suporte, tratamento e substituição das armaduras e métodos de intervenção para a aplicação de argamassas de retracção controlada. No caderno de encargos devem ser definidas as características dos produtos a ser utilizados, assim como a descrição pormenorizada das tarefas.

4. A PREPARAÇÃO DO SUPORTE

Após o diagnóstico e o levantamento integral das patologias da estrutura de betão, uma das etapas mais importantes de uma reabilitação é, sem dúvida, a preparação do suporte. Devemos garantir que todo o betão deteriorado e em fase de destacamento é removido até chegar ao suporte sólido, resistente e áspero. Eventuais intervenções de reabilitação precedentes, que não estejam bem aderentes, devem ser removidas. Os métodos mais utilizados para a remoção do betão são os seguintes:

- Demolição manual;
- Máquinas-ferramenta (Figura 11);
- Jacto de areia seco ou húmido
- Hidroescarificação (Figura 12).



Figura 11 – Picagem com martelo



Figura 12 – Hidroescarificação

5. O TRATAMENTO DA ARMADURA

Devemos remover das armaduras as poeiras, ferrugem, leitadas de cimento, gorduras, óleos, vernizes ou pinturas previamente aplicados, mediante jacto de areia. Se houver a necessidade de substituir ou acrescentar armaduras devem ser respeitados os comprimentos de amarração definidos nos regulamentos. É aconselhável realizar a limpeza por jacto de areia até as armaduras se tornarem brancas. Se, por motivos logísticos, isto não for possível, escovar energeticamente a superfície da armadura com cuidado e em profundidade. As armaduras substituídas ou acrescentadas deverão ser preparadas do mesmo modo.

Seguidamente devemos aplicar uma argamassa cimentícia anticorrosiva à base de polímeros em dispersão aquosa, ligantes cimentícios e inibidores de corrosão para protecção anticorrosiva alcalinizante das armaduras.

A acção anticorrosiva destas argamassas ocorre através da:

- sua impermeabilidade à água e aos gases agressivos presentes na atmosfera (dióxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de azoto);
- presença de inibidores de corrosão que protegem as armaduras da oxidação;

- sua elevada alcalinidade;
- ótima aderência ao metal.

A aplicação destas argamassas (Figura 13) é normalmente realizada com pincel em duas demãos. A segunda demão pode ser aplicada 90-120 minutos depois da primeira e, de preferência, dentro de 24 horas. Deve-se cobrir totalmente e de modo homogêneo a superfície da armadura; esta operação não cria dificuldades porque a aplicação da argamassa é muito fácil. A espessura total das duas demãos deve ser a suficiente para proteger a armadura, normalmente entre 1,5 a 2mm. A aplicação da argamassa de retracção controlada subsequente pode ser efectuada 4-5 horas após a aplicação da argamassa cimentícia anticorrosiva, consoante a temperatura.



Figura 13 – Aplicação da argamassa cimentícia anticorrosiva

6. AS ARGAMASSAS DE RETRACÇÃO CONTROLADA

As argamassas de retracção controlada são fornecidas pré-misturadas, em embalagens fechadas. Para a sua preparação em obra bastará apenas adicionar água, de acordo com as especificações do Fornecedor. São compostas por cimentos de elevada resistência, microssilica, agregados seleccionados, aditivos especiais e fibras sintéticas. A função da microssilica é atribuir propriedades pozolânicas e reológicas à argamassa e melhorar a qualidade da argamassa endurecida. A pozolana é um material inerte que reage com hidróxidos de cálcio na presença de água, originando compostos aglomerantes com características semelhantes aos produzidos na hidratação do cimento Portland. As pozolanas naturais são constituídas por produtos naturais ricos em sílica e alumina e as artificiais são obtidas pela cozedura de argilas a temperaturas entre 600°C e 900°C. As vantagens da pozolana são as seguintes: geralmente são mais baratas do que o cimento; permitem reduzir o calor da hidratação e consequentemente diminuir os fenómenos de retracção do betão e aumentam a resistência química do betão exposto a ambientes agressivos.

As fibras sintéticas têm influência na retracção plástica, na exsudação e na segregação. Os adjuvantes expansivos controlam a retracção plástica e higrométrica.

As principais propriedades das argamassas de retracção controlada são: boa aderência ao suporte, compatibilidade mecânica com o suporte existente, retracção controlada e impermeabilidade e resistência química à acção agressiva do dióxido de carbono, cloretos e sulfatos.

Antes da sua aplicação devemos humedecer o suporte até à saturação com água. Antes de escoar, aguardar a evaporação da água em excesso; para facilitar a eliminação da água liberta, utilizar, se necessário, ar comprimido.

A mistura da argamassa fornecida em pó, pré-doseada, com a água que lhe garantirá a hidratação deverá ser feita imediatamente antes da sua aplicação, devendo o processo de mistura (meios a utilizar e quantidade de água a adicionar) seguir as indicações do Fornecedor.

As distâncias entre os locais de instalação dos equipamentos misturadores e os da colocação da argamassa em obra deverão ser objecto de estudo especializado.

Com clima quente, as argamassas devem ser armazenadas em local fresco e utilizar água fresca para a sua preparação. Com clima frio, armazenar o produto em local protegido do gelo, a uma temperatura de +20°C e utilizar água tépida para preparar a argamassa.

Depois da aplicação, aconselha-se a cura das argamassas de retracção controlada com cuidado para evitar que, sobretudo com clima quente e ventoso, a evaporação rápida da água de amassadura possa causar fissuração superficial devido à retracção plástica; nebulizar água sobre a superfície 8-12 horas após a aplicação da argamassa e repetir a operação ciclicamente (a cada 3-4 horas) durante pelo menos 48 horas.

Como alternativa, pode-se aplicar, depois da aplicação da argamassa, um produto antievaporante em emulsão aquosa, mediante uma bomba de baixa pressão, ou um agente de cura filmógeno em solvente para argamassas e betões ou um primário fixativo em solvente com elevada penetração para suportes absorventes e agente de cura para argamassas de reabilitação.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] L.A. Falcão Bauer. *Materiais de Construção Volume I*, 5ª Edição revista, Rio de Janeiro, LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 2000
- [2] NP EN 206-1: 2005 “Betão Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”
- [3] Especificação LNEC E464-2005 “Betões: Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais”
- [4] Luís Viegas Mendonça. *Durabilidade de Estruturas de Betão Armado. Degradação do Betão e Corrosão de Armaduras. Importância da Inspeção Periódica*, Arte e Cimento, n.º 37, Out. 2005, página 70-73.
- [5] A. de Sousa Coutinho. *Fabrico e propriedades do betão Volume II*, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.
- [6] A. de Sousa Coutinho. *Fabrico e propriedades do betão Volume I*, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997.
- [7] A. de Sousa Coutinho. *Fabrico e propriedades do betão Volume III*, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1997